

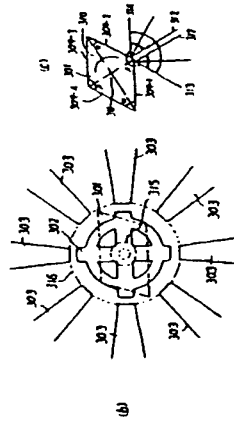
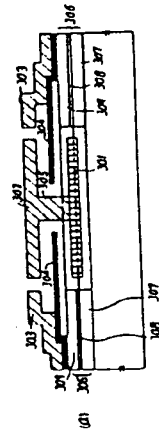
(54) OPTICAL SCANNER AND PRODUCTION THEREOF

(11) 4-328715 (A) (43) 17.11.1992 (19) JP

(21) Appl. No. 3-124527 (22) 30.4.1991

(71) OLYMPUS OPTICAL CO LTD (72) YOSHINORI OTA

(51) Int. Cl.<sup>8</sup> G02B26/10, B41J2/44, G03G15/04, H04N1/04



**PURPOSE:** To obtain the optical scanner having a very small optical deflector by providing a rotating body and electrostatic micromotors on the same substrate.

**CONSTITUTION:** The optical scanner is obtained by forming a 1st sacrificial layer insulating film on the substrate 315, forming a semiconductor single crystal layer on this 1st sacrificial layer insulating film, etching this semiconductor single crystal layer by photolithography to remove the 1st sacrificial layer insulating film, and forming the rotating body 303 and the electrostatic micromotors 302, 303.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-328715

(43) 公開日 平成4年(1992)11月17日

(51) Int.Cl. <sup>a</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 26/10	1 0 1	8507-2K		
B 4 1 J 2/44				
G 0 3 G 15/04	1 1 6	9122-2H		
H 0 4 N 1/04	1 0 4 Z	7251-5C		
		9110-2C		
			B 4 1 J 3/ 00	M
			審査請求 未請求 請求項の数9 (全 18 頁)	

(21) 出願番号 特願平3-124527

(22) 出願日 平成3年(1991)4月30日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 太田 好紀

東京都渋谷区幡ヶ谷二丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

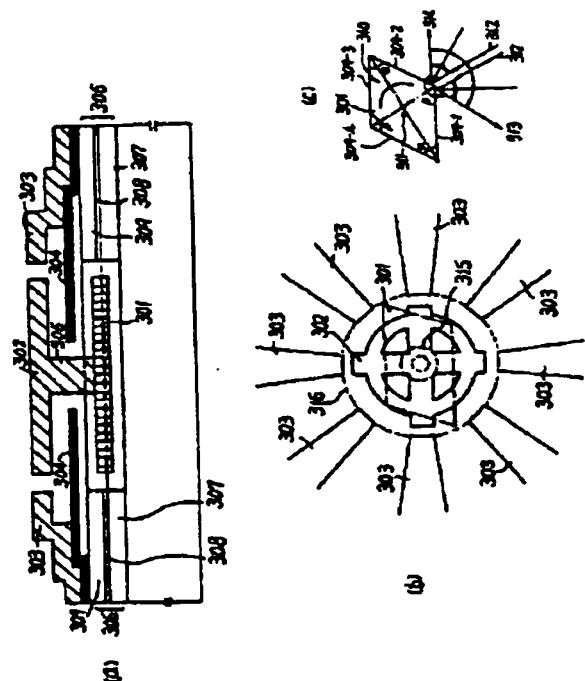
(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外5名)

(54) 【発明の名称】 光走査装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 回転体と静電マイクロモータとを同一基板上に設け、微小な光偏向装置を備えた光走査装置を得る。

【構成】 基板315上に第1犠牲層絶縁膜を形成し、この第1犠牲層絶縁膜上に半導体単結晶層を形成し、この半導体単結晶層をフォトリソグラフィによりエッチングし、第1犠牲層絶縁膜を除去して、回転体301および静電マイクロモータ302、303を形成して、光走査装置を得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、この基板上に浮遊状態で回転可能に支持され端面が光学的に平坦である回転体と、この回転体を回転駆動させる静電マイクロモータとからなることを特徴とする光走査装置。

【請求項2】 前記回転体が、前記基板上に浮遊状態で回転可能に支持され端面が光学的に平坦である回転反射鏡と、この回転反射鏡上に形成された前記静電マイクロモータのロータと、このロータと前記回転反射鏡とを接続する連結部からなることを特徴とする請求項1記載の光走査装置。

【請求項3】 前記静電マイクロモータの周囲に前記回転体の端面と光軸が一致する光導波路を形成したことを特徴とする請求項1または2記載の光走査装置。

【請求項4】 請求項3記載の光走査装置と、レーザ光源と、光学系と、感光体とを備えたことを特徴とする光走査装置を有する画像形成装置。

【請求項5】 前記回転体、または、前記回転反射鏡は、半導体からなり、その結晶面が(100)または(110)であることを特徴とする請求項1または2記載の光走査装置。

【請求項6】 前記回転体、または、前記回転反射鏡の断面形状が、順メサ、逆メサ、あるいは垂直のいずれかであることを特徴とする請求項1または2記載の光走査装置。

【請求項7】 基板上に第1犠牲層絶縁膜を形成する工程と、この第1犠牲層絶縁膜上に半導体単結晶層を形成する工程と、この半導体単結晶層をフォトリソグラフィによりエッチングし、前記第1犠牲層絶縁膜を除去することにより前記回転体及び、静電マイクロモータを作成する工程とを有することを特徴とする請求項1記載の光走査装置の製造方法。

【請求項8】 前記半導体単結晶層が、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>法あるいは陽極接合法により形成されたことを特徴とする請求項7記載の光走査装置の製造方法。

【請求項9】 半導体単結晶からなる第1の基板をフォトリソグラフィによりエッチングする工程と、第2の基板上に第1犠牲層絶縁膜を形成する工程と、前記第1の基板のエッチングされた表面と前記第2の基板を陽極接合する工程と、前記第1の基板をエッチングされた表面層を残して研磨により除去する工程と、前記第1犠牲層絶縁膜を除去して前記回転体及び静電マイクロモータを作成する工程とを有することを特徴とする請求項1記載の光走査装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、マイクロマシンを応用して製作される静電マイクロモータを使用した光走査装置およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図11は、IEEE Trans on Electron Devices, vol. 35, No. 6, 724~730, 1988に掲載されたMullerらによるマイクロ機械の一製法であり、機械的可動部分に当たるロータの製作に関する基本的な製作工程を示している。この機械構造物は、ロータ3、ジョイント6ともCVD（化学気相堆積：Chemical Vapor Deposition）法で堆積したポリシリコンで製作される。基板上に堆積された薄膜をフォトリソグラフィによりエッチング加工して、機械的構造物を製作する方法をサーフェスマイクロマシンと言う。

【0003】 図11(a)において、1は基板であり、シリコン基板あるいは石英等のガラス基板でも良い。シリコン基板の場合、その結晶面方位はいかなるものでも良い。2は第1SiO<sub>2</sub>（二酸化シリコン）あるいはPSG（リン珪酸ガラス：Phospho-Silicate Glass）であり、工程の最後に静電マイクロモータのロータ等の機械的可動部をリフトオフする時の第1犠牲層である。3は第1ポリシリコンであり、機械的可動部となる。実際の製作では、フォトリソマスク（図示せず）で第1ポリシリコン3、下地の第1犠牲層2をRIE（反応性イオンエッチング：Reactive Ion Etching）で加工し、基板1の表面が露出までエッチングする。図11(b)において、4は第2SiO<sub>2</sub>あるいはPSGからなる第2犠牲層であり、可動部3をピン止めするジョイント部にレジストマスク（図示せず）で、RIE等によりエッチングし、窓開けする。さらに、図11(c)において、6は第2ポリシリコンであり、可動部3をピン止めするベアリングを構成する。加工には、同様にフォトリソとRIEを用いる。

【0004】 図12はLangらの提案(Transducer'89講演番号B5.3, June 1989)による静電マイクロモータの外観図(a)及び断面構造(b)である。ロータ21、ベアリング22、ステータ23は、減圧CVD法で堆積されたポリシリコンで形成されている。CVD法は、下地によらず簡単に膜堆積が可能であり、シリコンICの電極材料あるいは浅い拡散層形成のための拡散源として広く用いられているので、シリコンベースの薄膜マイクロマシンの構造体用材料として便利な材料である。

【0005】 しかし、機械材料としてポリシリコンを用いた場合、ポリシリコンが粒径数 $\mu\text{m}$ 〜数 $10\mu\text{m}$ の単結晶の集合体であり、粒径が熱処理で変わり、これに対応して内部応力も熱処理の影響を受けることや、機械的耐摩耗性が単結晶に比べて低いなどの点が、長寿命化を考えた場合に問題となる。一方、現在のシリコン単結晶引き上げ技術では、ICのデバイスやプロセス上有害となる転位の抑制が達成できる。さらに、最近では、点欠陥の制御に関する研究が行われつつあり、熱処理によるバルク欠陥と溶存酸素、溶存炭素濃度との関係も明らかにされつつある。これに伴い、機械材料としての単結晶シリコンの重要性が益々増加しつつあり、その為、マイクロマシンの分野でも、可動部分を単結晶で構成することが

必要とされる。

【0006】図13は大阪大学西原教授らの提案(IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. QE-22, No. 6, 845~867)による、強誘電体基板を伝播する表面弾性波で形成される回折格子での光偏向を利用した光走査装置である。図13に示す例において、31はニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)であり、表面層に光導波路を形成する為にTiドーブ層32が形成されている。レーザダイオード(LD)33から光導波路32へ端面結合で入力された光34は、フレネルレンズ35で平行光となった後、くし形電極36で発生した表面弾性波(SAW: Surface Acoustic Wave)37で強誘電体基板31の表面38に形成される回折格子により偏向された後、集光グレーティングカプラー(FGC: Focusing Grating Coupler)39へ入射し、光感応紙40上へ集光される。SAW電極36へ加える印加電圧の周波数を掃引することで、光ビーム41は水平方向へ走査される。この光の水平走査と光感応紙40の送りを同期させることで、光感応紙40上での光の二次元走査を行うことができる。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来から公知の技術では、表面マイクロマシンで用いられるポリシリコンは、その機械特性がプロセスの熱処理条件等で変わる点やポリシリコン自身が粒径数 $\mu\text{m}$ ~数 $10\mu\text{m}$ の多結晶体である為、粒界での機械的はく離の問題で、耐摩耗性が単結晶シリコンに比べて劣る欠点があった。また、静電マイクロモータはポリシリコン膜(数 $\mu\text{m}$ 厚)を反応性イオンエッチングなどの方法で垂直に近い形状に加工して製作される。この時のエッチング端面は、ドライエッチング中の反応生成物の端面側壁への付着や斜目入射イオンによる衝撃などにより、縦縞状の凹凸が入るため光学的鏡面を得るまでには至っていない問題があった。

【0008】一方で、SAW回折格子を用いる光偏向器が提案されその実用化が検討されているが、これによる偏向角が小さい為、光プリンタ等の広範囲の光走査を行う用途には適していない問題があった。さらに、西原型の光走査装置は、従来のポリゴンミラーを利用した機械的回転鏡での光偏向、光走査装置に比べ、小型軽量、精密な光走査が可能である反面、光偏向角が数度程度に限られる為、広範囲での光走査を行う用途には、SAWデバイスを直列に接続し、総合的な偏向角を大きくする工夫などが必要となる。しかし、SAWデバイスを直列接続する方法は、素子の大型化につながる他、各SAWデバイスの駆動に同期をとる必要がある為駆動回路系が複雑になる欠点があった。

【0009】本発明の目的は上述した課題を解消して、静電マイクロモータの機械的強度の確保および耐摩耗性の向上ができるとともに、静電マイクロモータのロータ端面の光学的鏡面の確保ができる光走査装置およびその製造方法を提供しようとするものである。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の光走査装置は、基板と、この基板上に浮遊状態で回転可能に支持され端面が光学的に平坦である回転体と、この回転体を回転駆動させる静電マイクロモータとからなることを特徴とするものである。

【0011】また、本発明の光走査装置の製造方法の第1発明は、基板上に第1犠牲層絶縁膜を形成する工程と、この第1犠牲層絶縁膜上に半導体単結晶層を形成する工程と、この半導体単結晶層をフォトリソグラフィによりエッチングし、前記第1犠牲層絶縁膜を除去することにより前記回転体及び、静電マイクロモータを作成する工程とを有することを特徴とするものである。

【0012】さらに、本発明の光走査装置の製造方法の第2発明は、半導体単結晶からなる第1の基板をフォトリソグラフィによりエッチングする工程と、第2の基板上に第1犠牲層絶縁膜を形成する工程と、前記第1の基板のエッチングされた表面と前記第2の基板を陽極接合する工程と、前記第1の基板をエッチングされた表面層を残して研磨により除去する工程と、前記第1犠牲層絶縁膜を除去して前記回転体及び静電マイクロモータを作成する工程とを有することを特徴とする。

#### 【0013】

【作用】上述した構成において、静電マイクロモータと回転体好ましくは回転反射鏡とを同一基板上に一体または別体に設けたため、微小な光偏向装置を備えた光走査装置を構成することができる。従って、本発明の光走査装置を使用した画像形成装置も、小型化を達成することができる。また、本発明の光走査装置は、上述した本発明の製造方法の第1発明および第2発明の構成のように、同一基板上に犠牲層絶縁膜の使用およびエッチング工程により静電マイクロモータと回転体を同時に形成することにより、簡単に得ることができる。

#### 【0014】

【実施例】本発明では、例えば静電マイクロモータのロータ端面等に光学的鏡面を形成する必要がある。そのための技術として有効な結晶面依存性のある異方性エッチングについて、まず最初に説明する。図1はシリコン異方性エッチングの概略を説明するための図である(佐藤、計測と制御 vol. 28, No. 6, 481~484, 1989)。図1(a)は結晶面が(110)面のシリコン基板を異方性エッチングした場合のエッチング形状、図1(b)は同(100)面のシリコン基板のエッチング形状をそれぞれ示す。図1(c)は(100)シリコン基板を異方性エッチングで穴状に加工(図ではダイヤフラムを形成)した時の基板断面形状である。図1(c)で、エッチングマスクとしてSiO<sub>2</sub>201を用いマスク端部の方位を(110)方向に合わせた時、エッチング速度が(100)>>(111)となる結晶面依存性を持つ為、(111)面202が見掛け上エッチング停止面として働き、この面は(100)面203に対して54.7°に正確

5

に決まる。又、この時のエッチング面202は鏡面となる。図1(a)で、結晶面(110)を持つシリコン基板を用い、(110)方向にマスク方位を合わせると(110)面と(111)面が直交する為、この時のエッチング端面204は基板に対して垂直になり、かつ鏡面である。シリコン異方性エッチングで作られる図1(a)、(b)の(111)面は、光の反射面として優れた平坦性を持つ為、マイクロマシンで製作する回転ミラー面として理想的である。

【0015】光学的鏡面のロータを持つ静電マイクロモータで構成される光偏向器光走査装置の概念図を図2に示す。図2(a)は、異方性エッチングにより端面を(111)面で鏡面仕上げとし、かつ、端面が垂直になっている回転反射鏡301と、これに接続されているポリシリコンロータ302、駆動ポリシリコン電極(ステータ)303、 $Si_3N_4$ からなるガイド層304、回転鏡301とロータ302との連結部305からなる静電モータ系と、回転鏡301に光軸合わせされている光導波路306の第1クラッド層307、コア308、第2クラッド層309を、基板315上に構成した反射鏡付静電モータと導波路とが一体化されたシステムの断面である。図2(b)は図2(a)に示すシステムを上面から見た一例である。ポリシリコンロータ302の下には、反射鏡301を連絡する為の連結部305、 $Si_3N_4$ ガイド層304の端315、駆動用電極(ステータ)303、光導波路306の端316をそれぞれ示す。図2(c)は、異方性エッチングで形成した(111)端面309を持つ回転反射鏡301で、矢印310の方向に回転しているとす。この時、回転中心311へ向かうレーザ光312の最大偏向角は、回転反射鏡301の回転に伴い、端面309-1で反射した光313と端面309-2で反射した光314とのなす角度と考えて良いから、一点鎖線に示した角度となる。実際には、(110)面上での(110)方向のなす角度は、 $\alpha = 70.5^\circ$ 、 $\beta = 110.5^\circ$ であるから、最大偏向角は $2 \times (180^\circ - \alpha)$ か $2 \times (180^\circ - \beta)$ のいずれか大きい方で与えられ、 $2 \times (180^\circ - 70.5^\circ) = 219^\circ$ となる。

【0016】図3(a)~(k)に本発明による第1実施例の各工程を示す。同実施例では、回転鏡413は結晶面(110)の単結晶シリコンで形成し、静電マイクロモータのロータ420とステータ421をポリシリコンで形成しているところに特徴がある。単結晶回転鏡413とポリシリコンロータ420は、結晶学的に部分的にエピタキシャル成長あるいは薄い自然酸化膜を介して接続されている。

【0017】以下に、第1実施例の製作工程の概略を説明する。図3(a)では、結晶面(110)を有する単結晶シリコン基板401にマスク(レジスト等)402を用いて、酸素あるいは酸素とリン403をイオン注入し、基板401の表面から所定の深さ $x:404$ に所定のピーク濃度 $c:405-1$ を得る。この時、マスク領域406-1の下のシリコン基板401には、酸素あるいはリン403のイオンは注入されず、本プロセスで製作されて静電モータ駆動、制御系IC

6

を同一シリコン基板401上に製作することができる。図3(b)では、マスク402を除去し、熱処理により注入イオン(酸素・リン)とシリコンとの反応によりシリコン基板401の所定の深さ $x:404$ に $SiO_2$ 層あるいはPSG層からなる第1犠牲層405を形成し、同時にシリコン基板401の表面層406の結晶性の回復を行い単結晶化する。 $SiO_2$ 層あるいはPSG層405は、以後の製作工程で単結晶シリコン406の回転反射鏡をシリコン基板401から浮遊させる為の犠牲層となる。

【0018】図3(c)では、回転反射鏡413の厚みは、酸素あるいはリン403のイオン注入深さ404等(実際にはイオン射影飛程、標準偏差、熱処理での酸素、リン元素の拡散等)で決まる。しかし、イオンの注入深さ404が浅く、回転鏡413の厚みとして不十分な場合には、図3(b)の工程で単結晶化したシリコン表面407上に、エピタキシャル成長法で単結晶層408を追加することもできる(この追加層408と再結晶層406を含めて結晶層409と呼ぶことにする)。図3(d)では、図3(c)に示した埋込み絶縁層(第1犠牲層)405の領域の一部を拡大して示す。熱酸化により結晶層409表面に $SiO_2$ (第2犠牲層)410を形成する。熱酸化膜410は次のシリコン異方性エッチングのマスクとなるものである。又、熱酸化膜410以外の例えばCVD  $SiO_2$ 、 $Si_3N_4$ 等の絶縁膜、Au/Cr等の金属膜等、異方性エッチングのマスクとして適当な材料であれば如何なるものでも良い。

【0019】図3(e)では、マスク410の少なくとも四方を(110)方向に合わせた形状に例えば図3(i)に示すひし形にフォトリソグラフィーで加工し、レジスト除去後にマスク410を用いて単結晶層409をエッチングする。単結晶層409の表面411は(110)面に選んであるので、異方性エッチング後の単結晶層409の端面412は(111)面になる為、基板401に対して垂直である。異方性エッチング後の単結晶層409は回転反射鏡となるので、特に回転反射鏡413と称する。又、異方性エッチングは埋込み絶縁層405で停止し、基板シリコン401まで達することはない。図3(f)では、第3の犠牲層414例えばPSGを堆積し、図3(g)に示すように回転反射鏡413の中心415と同心の円で、かつ反射鏡413を含む形状(例えば図3(m)で $D > L$ )に、PSG 414及び埋込みの絶縁層405をフォトリソグラフィーで除去する。

【0020】図3(h)では、CVD  $Si_3N_4$ 膜416を堆積し、反射鏡413の中央部に反射鏡413内に納まる第1開口部417をフォトリソグラフィーで形成する。この開口部417は円形とし直径を $a$ とする。図3(i)では、第4犠牲層418例えばPSGを堆積し、第1開口部417より小さい(直径を $b$ とし $b < a$ )第2開口部419をフォトリソグラフィーで形成する。この時第2開口部419は回転反射鏡413に達するようにエッチングする。図3(j)では、ポリシリコンをCVD法により堆積し、フォトリソグラフィーにより、ロータ420とステータ421を形成す

る。図3(k)では、第1～第4犠牲層405、410、414、418をHF系溶液で除去し、反射鏡413、ポリシリコンロータ420、ステータ421の一部422及び $\text{Si}_3\text{N}_4$  416の一部417-1をシリコン基板401から浮遊させる。

【0021】上述した第1実施例では、ロータ420と反射鏡413の回転中の固定は、ロータ413とわずかに離れて設置されている $\text{Si}_3\text{N}_4$  416で行われる。回転鏡413の形状は図3(l)に示すような矩形をなしているが、回転に際し図3(m)に示すように $D>L$ で円形に第1犠牲層405、第3犠牲層414をパターン形成することで問題はない。また、単結晶反射鏡413の加工に異方性エッチングとRIE等のドライエッチングを併用し、より鏡面に近い異方性エッチングで形成した端面を光の反射面として用い、回転運動する時にバランスをとるのに都合の良い形状にRIE(任意の形状に加工が可能)で加工することもできる。この時のエッチングの手順は、 $\text{SiO}_2$ 等のマスクで単結晶シリコンを異方性エッチングし、然る後に、レジストマスクで単結晶シリコンをRIEで加工する。

【0022】図4に示す本発明の第2実施例は、第1実施例の回転鏡付静電マイクロモータに光入力のための導波路を同一基板上に形成するものであり、入射光の光軸と回転鏡の反射面との位置合わせが容易に行える。製作工程を以下に示す。第2実施例の製作工程において、図3(a)～(g)の回転反射鏡412を形成するまでは同一なので省略する。その後、以下の工程を実施する。

【0023】第4(a)では、501は(110)シリコン基板、505は埋込み絶縁膜(第1犠牲層)、513は端面垂直となる異方性エッチングで形成した回転反射鏡、510は熱酸化膜(第2犠牲層)、414は第3犠牲層である。この上にCVDにより $\text{Si}_3\text{N}_4$  515を堆積する。この $\text{Si}_3\text{N}_4$  515は、次の光導波路を形成する際に犠牲層を保護するものである。図4(b)では、光導波路の第1クラッド層516、コア層517、第2クラッド層518を順次堆積し、レジストマスクで回転反射鏡513を取り囲む形にRIEあるいはRIBE(反応性イオンビームエッチング: Reactive Ion Beam Etching)、IBE(イオンビームエッチング: Ion Beam Etching)等でCVD  $\text{Si}_3\text{N}_4$  515が露出するまでエッチングする。図4(c)では、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  515をRIE等で選択的にエッチングし、再度第2の $\text{Si}_3\text{N}_4$  519を堆積する。第2の $\text{Si}_3\text{N}_4$  519は、次の犠牲層除去の際、エッチング液(HF系溶液)から光導波路520を保護するものである。尚、第2の $\text{Si}_3\text{N}_4$  515は工程上支障がなければ、第1の $\text{Si}_3\text{N}_4$  519をエッチングせずに、重ねて堆積しても良い。図4(d)では、レジストマスクで光導波路520領域以外の(第1 $\text{Si}_3\text{N}_4$  515)、第2 $\text{Si}_3\text{N}_4$  519を除去する。

【0024】第4(e)では、第4の犠牲層521を堆積し、回転反射鏡513と、光導波路520の端部を含む領域を残すように、フォトリソグラフィーにより、第4犠牲層521をエッチングする。第4犠牲層521堆積の目的

は、光導波路520のコア層517から回転反射鏡513へ入射する光522に対して光学的界面(反射屈折面)を作らないことである。また、第4犠牲層521は光導波路端面523と回転反射鏡513の間を充填すれば良いので、第4犠牲層521を堆積後にRIE等でエッチバックし、回転反射鏡513上の第4犠牲層の厚みを薄くしても良い。こうすることでポリシリコンで形成する静電マイクロモータのロータ529と回転反射鏡513の接続孔のエッチングを最小にすることができる。図4(f)では、第3の $\text{Si}_3\text{N}_4$  524を堆積し、回転反射鏡513の中央部をフォトリソグラフィーによりエッチングし、回転反射鏡513に達する第1の開口部525を開ける。図4(g)では、第5の犠牲層526を堆積し、回転反射鏡513の中央部をフォトリソグラフィーによりエッチングし、第2の開口部527を開け、同時に静電マイクロモータのロータとステータの一部を形成する領域以外の第5犠牲層526を除去する。図4(h)では、ポリシリコン528を堆積し、フォトリソグラフィーにより静電マイクロモータのロータ529及びステータ530を形成する。図4(i)では、第1～第5犠牲層505、510、514、521、526をHF系エッチング液で除去し、静電マイクロモータのロータ529及び回転反射鏡513を浮遊状態にする。

【0025】上述した第2実施例において、第2 $\text{Si}_3\text{N}_4$  519は光導波路の端面に当り、コア517、第2 $\text{Si}_3\text{N}_4$  519の屈折率を適当に選び、反射による回転反射鏡への入射光の損失を最少にする必要がある。例えばコア517の屈折率と第2 $\text{Si}_3\text{N}_4$ の屈折率(実際には $\text{SiO}_2$ 、 $\text{N}_2$ とし、酸素と窒素の組成化により $n_{\text{SiO}_2}=1.460\sim n_{\text{Si}_3\text{N}_4}=2.00$ まで屈折率は可変となる)を同一とし、光導波路の出射端面に $n=(n_{\text{SiO}_2}\times 1)^{1/2}$ の屈折率を有し、かつ $\lambda/4n$ 層の光学薄膜を堆積すれば、原理的には反射損失はなくなる。一方、回転反射鏡513の反射率Rはシリコンの屈折率が $n=3.85$ であるので、 $R=\{(n-1)/(n+1)\}^2=\{(3.85-1)/(3.85+1)\}^2=0.345$ となる。回転反射鏡513の高反射率化を行うには、反射鏡513にAl、Au/Cr、Ag/Crなどの高反射率金属を用いるか、高屈折率層と低屈折率層の多層膜からなり、各膜厚が $\lambda/4n$ となるように設定することで、90%以上の反射率を容易に得ることができる。静電マイクロモータはステータ530に印加する電圧をパルス的に切り換えることにより、ロータ529に連続回転するトルクを与えたり、ある特定の位置で静止させたりすることができる。ロータ529が連続回転する時は光偏向、光走査を連続的に行うことができ、ロータ529が静止している時は光を特定の方向へ出射することができる。また、ロータ529の静止位置をステップ状に変えることで、光の出射方向をステップ状に変えることができ、光のデジタル偏向も可能となる。

【0026】第3の実施例は静電マイクロ回転鏡と光導波路と光源とがハイブリッドあるいはモノリシックに一

9

体化された光走査システム構成に関するものである。図5は上記の一体化走査システムの概略である。図5(a)は、静電マイクロモータと回転反射鏡を一体にした本発明による光走査系をレーザプリンタへ応用した例の模式図である。図5(b)は同光走査系の断面である。図5(a)、(b)において、LD(レーザダイオード:Laser Diode) 601の活性層602から出射される光603は光学系604で集光され、光導波路605のコア層606へ入射し回転反射鏡607へ向けて出射される。光導波路の出射端面には反射防止膜608がコーティングされており、回転反射鏡端面には高反射膜609がコーティングされている。回転反射鏡607へ入射する光610は、反射鏡端面609で反射され、静電マイクロモータのロータ611の回転に伴い、角度 $\theta$ の方向へ反射され光走査が行われる(出射光612)。実際には、反射鏡で反射された光は、再度光導波路605へ入射し、光導波路の他の端面から出射されることになる。上記光走査系は、光の水平方向の走査を行うことができ、走査光(出射光)612を感光紙613に集光し、感光紙613をローラ614により垂直走査することで光の二次元走査を行うことができる。この光のx-y走査とLDのON-OFFを同期させることで、特定のキャラクターの印字ができ、レーザプリンタへの応用が可能となる。

【0027】第4実施例は、静電マイクロモータと回転反射鏡ともポリシリコンで製作する例である。図6(a)~(g)にその製作工程を示す。図6(a)では、単結晶シリコン基板701上にCVD法にて $\text{Si}_3\text{N}_4$  702を堆積し、続いて第1犠牲層703、第1ポリシリコン704を堆積する。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  702は、次のエッチング工程の基板保護層、704は回転反射鏡となる。図6(b)では、フォトリソグラフィにて第1ポリシリコン704、続いて第1犠牲層703を連続的にエッチングする。第1ポリシリコン704の端面705は垂直かつ光学的に平滑である必要があり、その為第1ポリシリコン704のエッチング加工には、RIE、RIBE、IBEなどのドライエッチング法の中で上記の条件を満足するエッチング方法とエッチング条件を用いる。第1ポリシリコン704の平面形状は、マスク形状を変えることで、正方形、八角形など任意の形状とすることができる。

【0028】図6(c)では、第2の犠牲層706を堆積し、回転反射鏡704を同心で、該反射鏡704を含む円形にフォトリソグラフィでパターン形成する。図6(d)では、第2の $\text{Si}_3\text{N}_4$  707を堆積し、回転反射鏡704の中央部に第1開口部708を開けする。図6(e)では、第3犠牲層709を堆積し、回転反射鏡704の中央部に第2開口部710を第1開口部708の内側に開けする。この時、同時にロータ712とステータ713の一部を含む領域以外の第3犠牲層709も除去する。図6(f)では、第2ポリシリコン711を堆積し、フォトリソグラフィによりロータ712とステータ713を形成する。図6(g)では、HF系溶液に浸漬し、第1犠牲層703、第2犠牲層706

10

6、第3犠牲層709を除去し、回転反射鏡704と静電マイクロモータのロータ712を浮遊状態にする。

【0029】第5実施例を図7に示す。本実施例では、回転反射鏡に用いる(110)単結晶シリコン801と第1犠牲層803を堆積したガラス基板802、あるいはシリコン基板804とを陽極接合した後、単結晶シリコン801を研磨することで、所定の厚みの単結晶シリコン層805を得るものである。まず、図7(a)では、(110)結晶面を有する単結晶基板801と、PSG等の犠牲層803を被着したガラス基板802、あるいは同犠牲層803を被着したシリコン基板804を用意する。以下、ガラス基板、シリコン基板上での製作も同一なので以下では基板802、804を区別せず804と呼称する。図7(b)では、(100)単結晶基板801と基板804を接触させ、400~500℃程度の温度で犠牲層804が被着してある基板804側に負電位を印加し、単結晶基板801と基板804とを陽極接合にて張り合わせる。図7(c)では、単結晶基板801側を機械的あるいは化学・機械的に研磨し、第1犠牲層803上に数 $\mu\text{m}$ の単結晶層805を残す。この単結晶層805が回転反射鏡の厚みとなる。

【0030】図7(d)では、熱酸化により、単結晶層805上に $\text{SiO}_2$ (第2犠牲層)806を形成し、フォトリソグラフィによりシリコン異方性エッチングのマスクを形成し、単結晶層805を異方性エッチングにより回転反射鏡807を形成する。図7(e)では、第3犠牲層808を全面に堆積し、図7(f)に示すように、フォトリソグラフィにより第3犠牲層808と第1犠牲層803をエッチングし、回転反射鏡807の中心と同心で回転反射鏡807を含む円形に残す。図7(g)では、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  809を堆積した後、フォトリソグラフィで回転反射鏡807の中央部に第1開口部810を開けする。図7(h)では、第4犠牲層811を堆積し、フォトリソグラフィで回転反射鏡807の中央部に第2開口部812を、第1開口部810の内側に開けする。図7(i)では、ポリシリコン813を堆積し、フォトリソグラフィで静電マイクロモータのロータ814及びステータ815を形成する。図7(j)では、HF系溶液で第1~第4犠牲層803、806、808、811を除去し、回転反射鏡807及び静電マイクロモータのロータ814を浮遊状態にする。

【0031】上述した第5実施例では、陽極接合にて、シリコン基板と、ガラス基板あるいはガラス付きシリコン基板を接合する為、両基板とも平滑な表面を有することが重要である。また、接合したシリコン基板を図7(c)の工程で研磨により数 $\mu\text{m}$ の厚さに薄くする加工があるが、ガラス基板上に接合したシリコン基板の厚みの測定法としてガラス基板側から光を入射させ、シリコン基板側での透過光強度から求める方法が簡便である。

【0032】第6実施例は、図8(a)の構造図に示すように、回転反射鏡902の反射端面903に逆テーパをつけ、光導波路904から透明基板901に平行に回転反射鏡

11

902 へ入射する光905 を、透明基板901 側へ反射させるものである(908 は反射光)。906 は静電マイクロモータのロータ907 は同ステータである。以下に、製法を示す。まず、図8(b)では、(100)結晶面を持つ単結晶シリコン910 に熱酸化膜911 を形成し、フォトリソグラフィにより四辺が(110)方向に一致する回転反射鏡902 の形状にパターン形成後、異方性エッチングによりシリコン基板910 にメサ形状912 を掘り込む。このメサ形状は順メサであり、斜面が(111)面となることより、(100)シリコン基板910 とは $54.7^\circ$ の角度913 で交わる。図8(c)では、マスク酸化膜911 を除去し、第1犠牲層(PSG等)914 を堆積したガラス基板(石英、パイレックスガラス等)915 上に順メサ912 を形成した面を合わせて乗せる。

【0033】図8(d)では、シリコン基板910 とガラス基板915 間にシリコン基板910 側が正となるように数100 Vの電圧を印加しながら400 ~ 500 °Cに加熱し、両基板を接合する(陽極接合)。図8(e)では、シリコン基板910 を機械的あるいは機械・化学的に研磨し、メサ部912 の一部916 を残し、すべて除去する。916 は回転反射鏡902 となる。その後、第2犠牲層917 を堆積する。図8(f)では、フォトリソグラフィにより、第2犠牲層917、第1犠牲層914 を、回転反射鏡916 を含む円形にパターン形成する。その後、全面に第1 $\text{Si}_3\text{N}_4$  918 を堆積し、続いて第1クラッド層919、IP層920、第2クラッド層921 から成る光導波路層922 を堆積する。フォトリソグラフィにより光導波路層922 をパターン形成し、回転反射鏡916 を含む第1、第2犠牲層914、917の外側に光導波路端923 が位置するようにする。第1 $\text{Si}_3\text{N}_4$  918 は、光導波路層922 のパターン形成を行う時に、第2犠牲層917 と第1犠牲層914 を保護する為のものである。図8(g)では、第2 $\text{Si}_3\text{N}_4$  924 を堆積し、フォトリソグラフィにて、第1、第2犠牲層914、917上の第1、第2 $\text{Si}_3\text{N}_4$  918、924を除去する。

【0034】図8(h)では、第3犠牲層925 を堆積し、光導波路922 と第1、第2犠牲層914、917の間を充填し、必要に応じてエッチバックにより第3犠牲層925 を薄くした後、フォトリソグラフィにより第3犠牲層925 の端部が光導波路層922 上に位置するようにパターン形成する。図8(i)では、第3 $\text{Si}_3\text{N}_4$  927 を堆積し、フォトリソグラフィにより第3 $\text{Si}_3\text{N}_4$  927、第3犠牲層925、第2犠牲層917 をエッチングし、回転反射鏡916 の中央部に第1開口部を形成する。次に、第4犠牲層928 を堆積し、フォトリソグラフィにより第4犠牲層928 をエッチングし、回転反射鏡916 の中央部に回転反射鏡916 に連した第1開口部より小さい第2開口部929 を形成する。図8(j)では、ポリシリコン930 を堆積し、フォトリソグラフィによりポリシリコン930 をエッチングし、第4犠牲層928 の内側に静電マイクロモータのロータ931 を形成し、第4犠牲層928 に一部かかり、その

12

外側にステータ932 を形成する。図8(k)では、HF系溶液にて第4、3、2、1犠牲層928、925、917、914 をエッチングし、回転反射鏡916、静電マイクロモータのロータ931 を浮遊状態にする。図8(l)に示すように、回転反射鏡916 となるメサ912 端面933 に反射率を上げる為に金属のコーティング、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{a-Si}$ 等の低屈折率層と高屈折率層の $\lambda/4n$ 膜厚からなる誘電体多層膜や半導体多層膜934 のコーティングを施しても良い。

【0035】第7実施例を図9に示す。第7実施例は、回転反射鏡1002の反射面が、光導波路1005から入射する光1024を基板1001と反対方向(上方)へ反射するように傾斜をつけたものである。光を上方へ出射するので、基板1001が光に対して透明である必要がないので、基板選択の自由度が高い。また、上方へ光を出射できるので実装が容易などの利点もある。図9(a)は、本実施例の断面構造である。1001は基板、1002は回転反射鏡、1003は静電マイクロモータのロータ、1004は同ステータ、1005は光導波路で、第1クラッド1006、コア1007、第2クラッド1008からなる。1009は静電マイクロモータのロータ1003と回転反射鏡1002からなる機械的可動物の支持体(ガイド層)である。

【0036】図9(b)-1では、結晶面(100)を有するシリコン基板1001-1に、酸素あるいは酸素とリンのイオン注入と、その後のアニールで形成される第1犠牲層1010と、同アニールで回復する結晶層あるいは必要に応じて形成されるエピタキシャル成長層を含む結晶層1011とからなる。図9(c)-1では、熱酸化により結晶層1011表面に熱酸化膜( $\text{SiO}_2$ )1012を形成し、フォトリソグラフィにより四辺を(110)方向に合わせた長方形あるいは正方形の回転反射鏡1002のパターンを形成する。シリコン異方性エッチングにて、結晶層1011を第1犠牲層1010に達するまでエッチングする。

【0037】図9(b)-2では、結晶面(100)のシリコン基板1001-2の全面あるいは一部に、化合物半導体、例えばGaAs等をヘテロエピタキシャル成長する。マスクエッチの方向を(110)方向に合わせたフォトリソマスクにて、化合物半導体層1013を選択エッチング(例えば $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 系、 $\text{NH}_4\text{OH}/\text{H}_2\text{O}_2$ 系)すると、順メサ方向には順メサが、逆メサ方向には逆メサが形成される。図9(c)-2には、化合物半導体の逆メサ1014を示してある。図9(d)-2では、全面に第1犠牲層(PSG等)1015を堆積する。図9(e)-2では、任意の結晶面を有するシリコン基板1016と図9(d)-2に示す基板の第1犠牲層1015が接触するように載せ、陽極接合法によって両基板を張り合わせる。

【0038】図9(b)-3では、(100)面を有する化合物半導体基板1001-3に、図9(c)-3に示すようにマスク四辺を(110)方向に合わせたフォトリソマスクでエッチングし、順メサ方向に順メサを、逆メサ方向に逆メサを形成する。図には逆メサ1018を示している。図9(d)-



3では、第1犠牲層(PSG等)1019を堆積する。図9(e)-3では、任意の結晶面を有するシリコン基板1020と、図9(d)-3の基板の第1犠牲層1019側を接触させ、陽極接合により両基板を接着する。

【0039】図9(f)では、図9(e)-2に示すシリコン基板1001-2、図9(e)-3に示す化合物半導体基板を機械あるいは機械・化学研磨し、メサ部1014あるいは1018を残す。メサ部1014、1018以外の基板1001-2、1001-3はすべて研磨で除去される。残されたメサ部1014、1018をマスクに、第1犠牲層1015、1019の回転反射鏡1014、1018の下第1犠牲層1015、1019以外の第1犠牲層1015、1019を除去する。以降の製作工程は、図8(e)以降と全く同様であるので、ここでは省略する。なお、図9(g)は図9(a)に示した回転反射鏡(四端面とも順メサ形状の場合)1002付き静電マイクロモータのロータ1003の平面図の一例である。正方形回転反射鏡1002の順メサ端面1021に入射する光1024は四極ロータ1003(4枚の翼1022の中線1023が反射鏡1002の対角線と一致する方向に選んである)のすき間を通過して上方へ出射される。

【0040】図10に本発明の第8実施例を示す。図10に示す第8実施例において、静電マイクロモータの可動部であるロータの機械的強度を確保する為に、SIMOX(Separation by Implanted Oxygen)を用いて、単結晶シリコン基板表面下に $\text{SiO}_2$ あるいはPSGの構成元素となる酸素並びにリンから成る層をイオン注入で形成し、これを浮遊構造体を形成する為の犠牲層として熱処理によりシリコン基板表面層の再結晶化とし、イオン注入層のガラス化を図り図10のプロセスで単結晶シリコンから成るロータを形成する。図10(a)は、本発明で製作される静電モータの概念図である。101は(110)面シリコン基板、102は同101基板の表面層を使って形成されるロータ、103はステータ、104はポリシリコンで形成されるベアリング、105は間隙である。

【0041】以下に単結晶ロータ102、ポリシリコンベアリング104の部分の製作工程を示す。まず図10(b)では、(110)シリコン基板に例えば数10KeV～数MeVの加速エネルギーで酸素イオン106、リンイオン107をイオン注入し、基板101表面から所定の深さに高濃度に酸素、リンから成る注入層108を形成する。これが第1犠牲層となる。図10(c)では、熱処理によりイオン注入層108をガラス化し、 $\text{SiO}_2$ あるいはPSG層109を形成し、同一熱処理あるいは追加熱処理により、イオン106、107が通過したシリコン基板101の表面層を再結晶化し、結晶層110に戻す。図10(d)では、PSG等の第2犠牲層111を堆積し、図10(e)に示すようにロータ112の形状にフォトリソグラフィーにより犠牲層111のパターン形成を行い、続いて結晶面異方性エッチング液で再結晶シリコン層110を第1犠牲層109が露出するまでエッチングする。この時、第2犠牲層111はシリコン異方性エッチングのマスクとなり、このマスクの端部113の方位の少

なくとも四方向を(110)方向に一致させることで、垂直端面が得られる。

【0042】図10(f)では、フォトリソグラフィーにより、ロータ102の中央部にベアリング104を形成するための開口114を形成する。図10(g)では、第3犠牲層115を堆積し、ベアリング104を形成するための窓口117を開ける。これに続き図10(h)に示すベアリング104となるポリシリコン116を堆積し、フォトリソグラフィーによりベアリング形状に加工する。図10(i)では、第1、第2、第3犠牲層109、111、115をHF系溶液で除去し、ロータ102を浮遊状態にする。尚、図10で用いるシリコン基板101は、端面113が垂直なロータ102を得る為に(110)基板を用いているが、(100)基板を用いることで図10(e)の異方性エッチングによりロータ102を形成する工程で順メサ形状を得ることもできる。

【0043】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、静電マイクロモータと回転体とを同一基板上に設けているため、微小な光偏向装置を備えた光走査装置を得ることができるとともに、これを使用した画像形成装置の小型化を達成することができる。また、本発明の光走査装置は、犠牲層絶縁膜の使用およびエッチング工程により同時に形成することにより、簡単に得ることができる。

【0044】また、単結晶シリコンで静電マイクロモータの可動部であるロータを形成するので、機械的強度、耐摩耗性の高い静電マイクロモータが実現できる為、高速回転に耐え、長寿命化が達成できる。さらに異方性エッチングにより可動部端面を形成すると、この面は結晶学的に(111)面に定まり、光学的に平坦(光学的鏡面)な端面となる。この端面を光走査用反射鏡として用いると理想的な反射鏡となる。

【0045】さらにまた、反射鏡を形成する結晶の面方位を(110)とすることで垂直端面が得られ(100)とすることで順メサ状端面あるいは逆メサ状端面が得られる。反射鏡端面の傾斜方向に応じて反射光の光軸を入射光の光軸方向と同一(垂直端面の場合)、上方(順メサ端面の場合)、下方(逆メサ端面の場合)と変えることができる。反射鏡として機能する構造体(回転反射鏡)と静電マイクロモータのロータとして機能する構造体を分離することで、両者の機能を向上させることができる。具体的には単結晶からなる反射鏡(異方性エッチングにより鏡面の端面)、静電モータとして最適形状のロータが作製でき、両者とも独立に設計の自由度が向上する。静電マイクロモータと、反射鏡を上下方向に分離するので、下の反射鏡の高さに位置合わせして光導波路を同一基板上に集積できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】シリコン異方性エッチングを説明するための図である。

16

【図 9】本発明の光走査装置の第 7 実施例の製造工程を示す図である。

【図10】本発明の光走査装置の第8実施例の製造工程を示す図である。

【図 1 1】従来のマイクロモータの製造工程を示す図である。

【図 1 2】従来の静電マイクロモータの構成を示す図である。

【図 13】従来の光走査装置の一例の構成を示す図である。

【符号の説明】

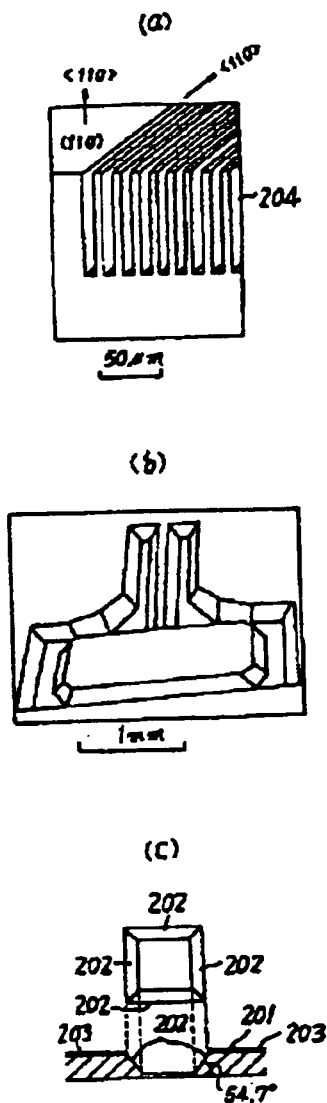
315 基板

301 回転体

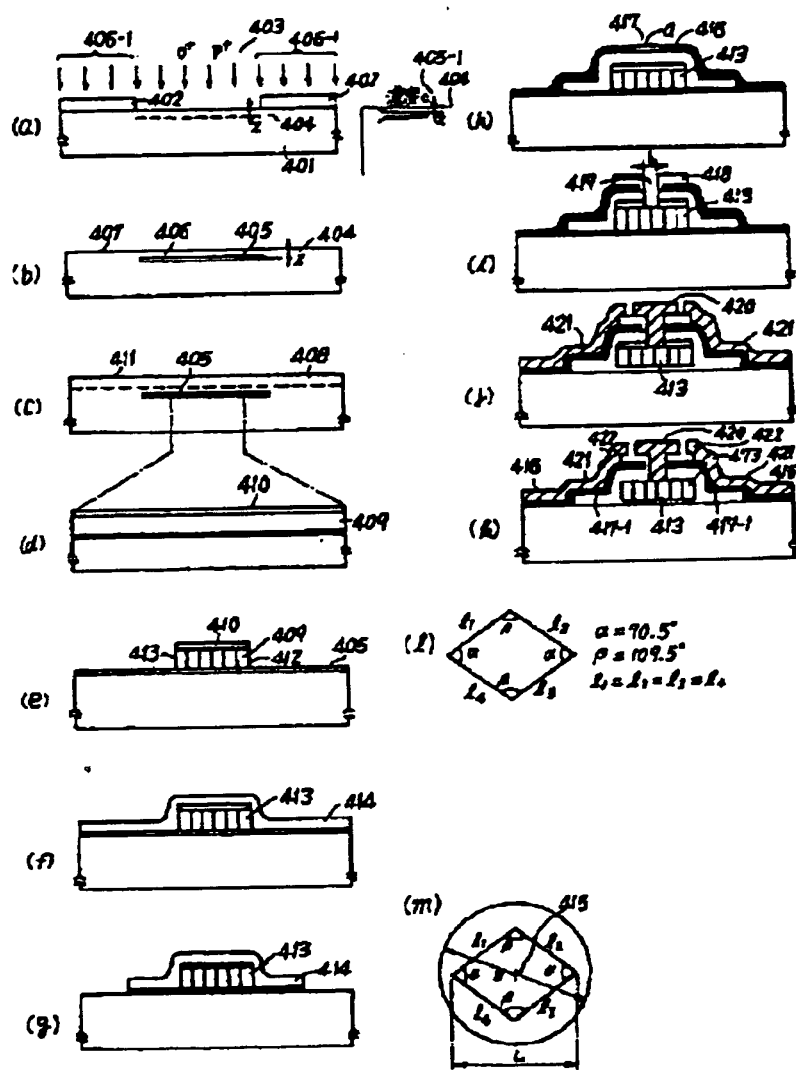
302. 303 静電マイクロモータ

[illegible]

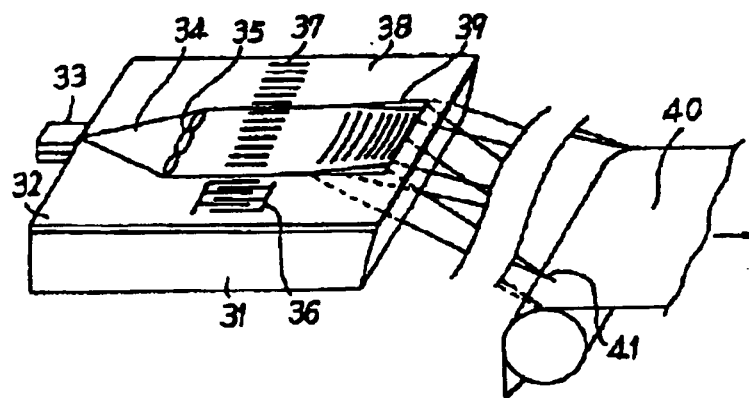
【図1】



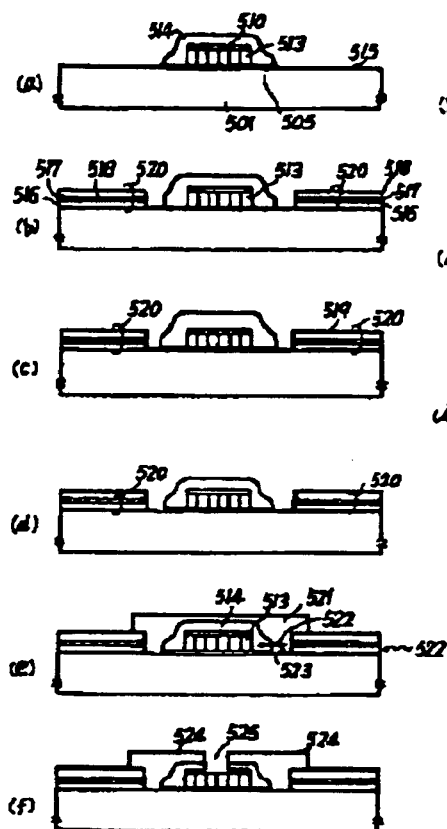
【図3】



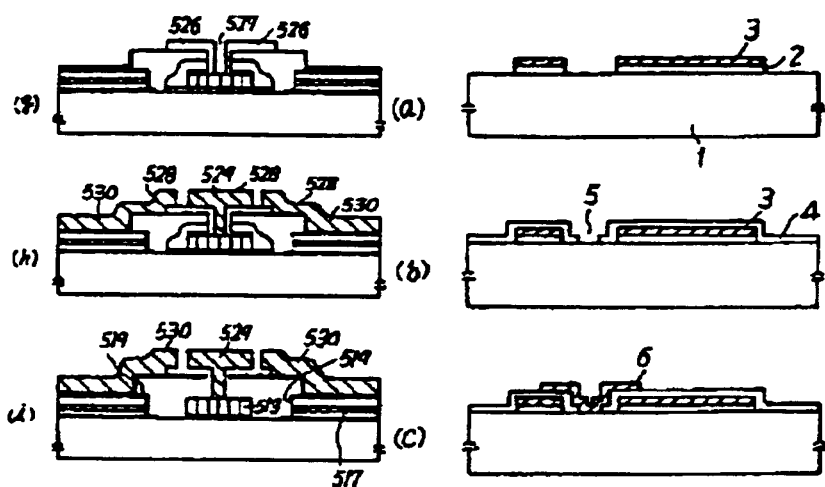
【図13】



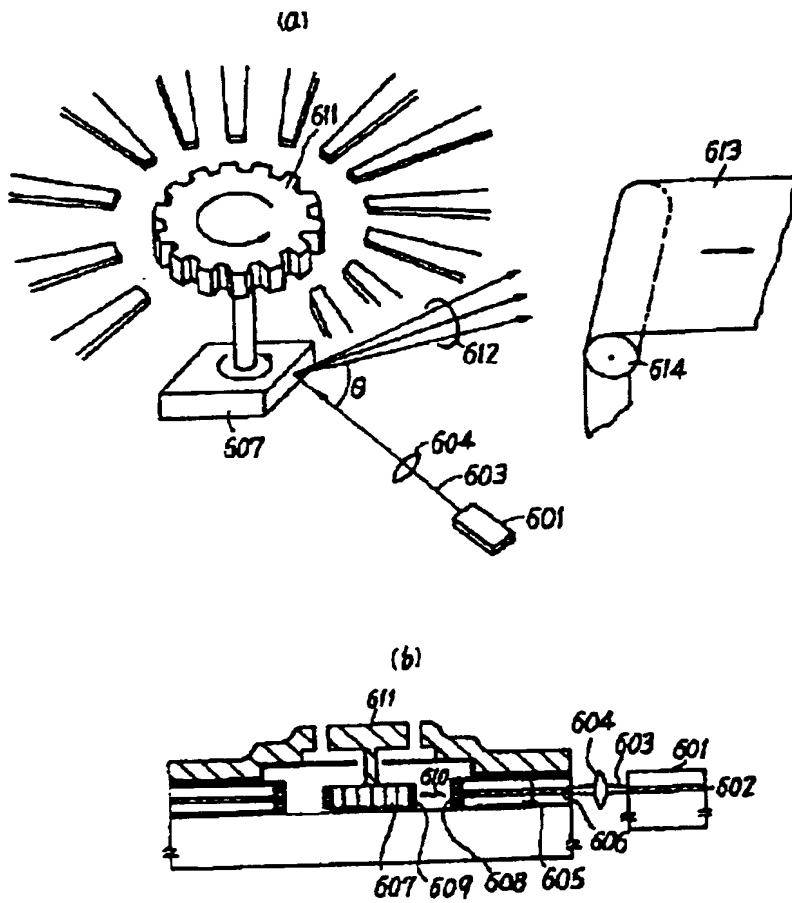
【図4】



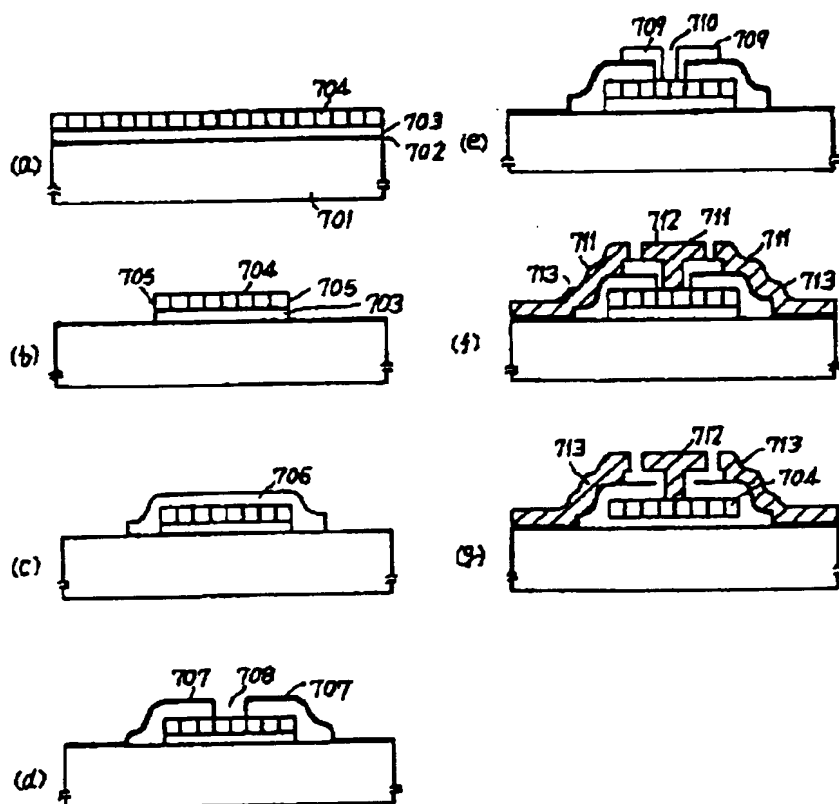
【図11】



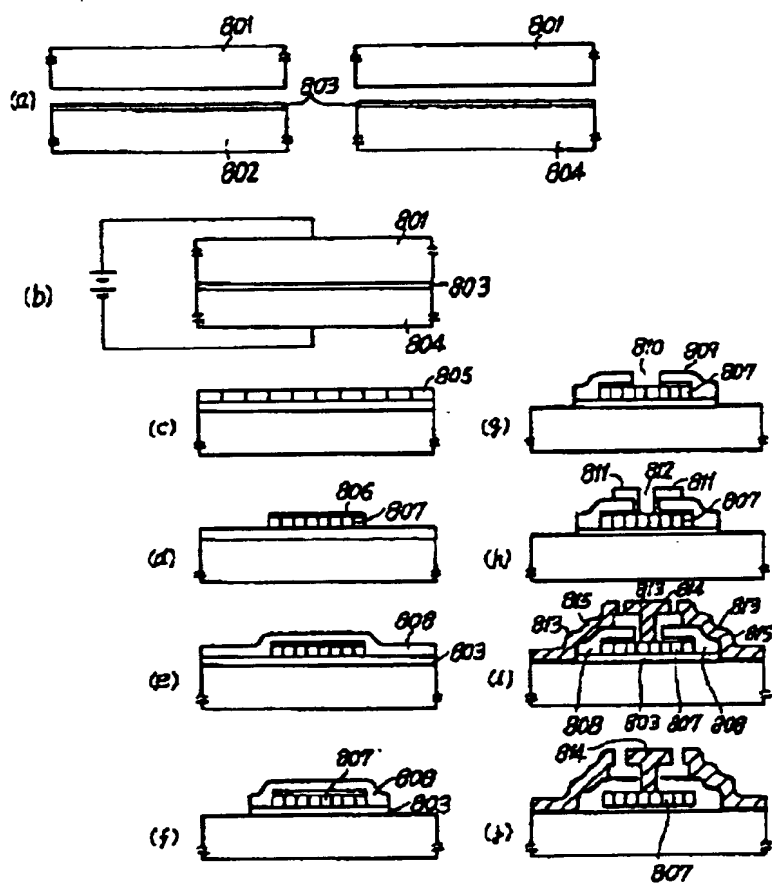
【図5】



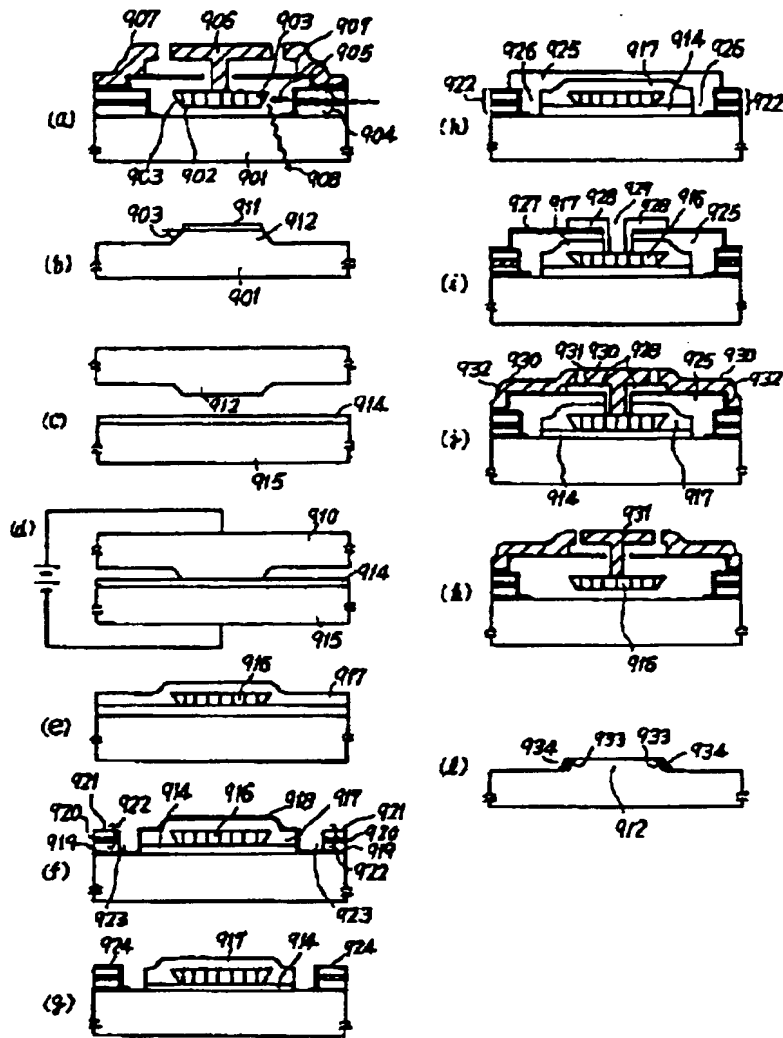
【図6】



【図7】



【図8】





【図9】

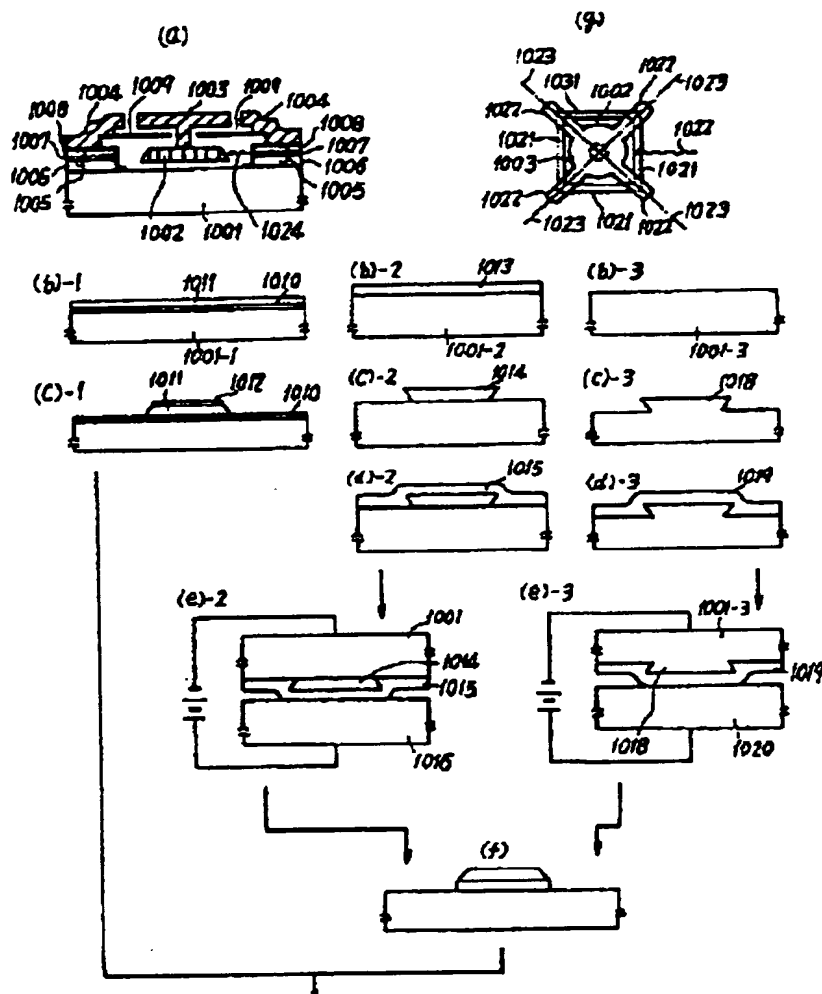
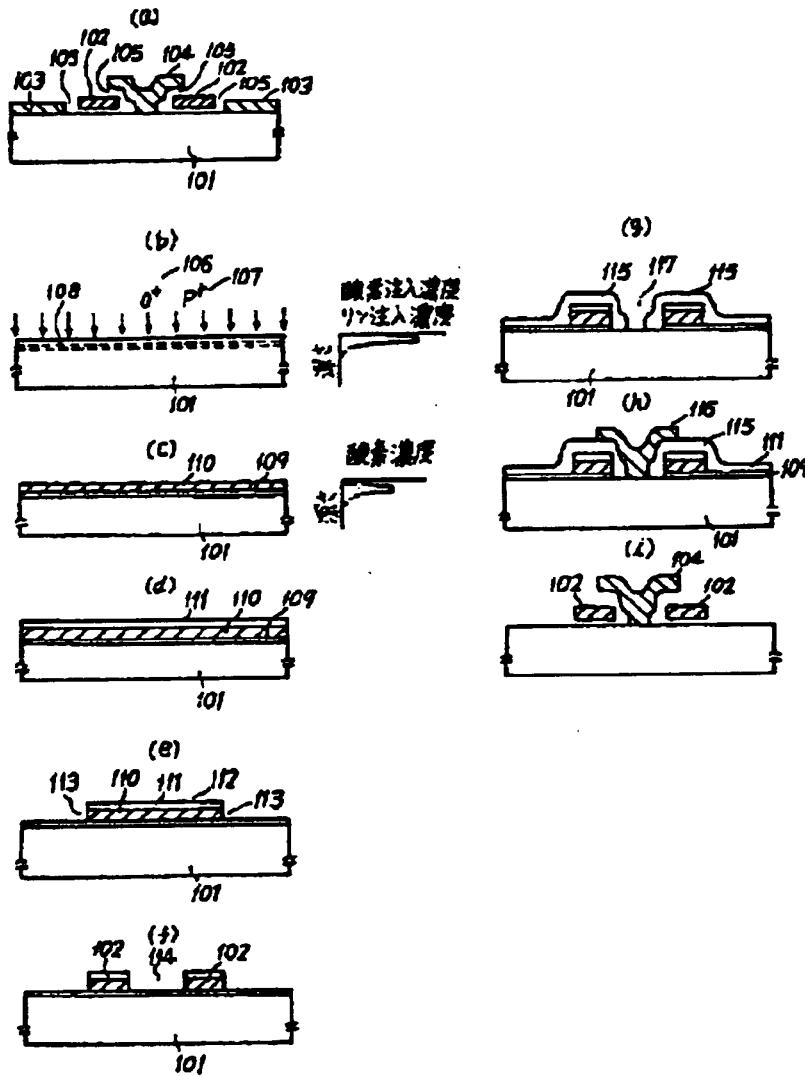


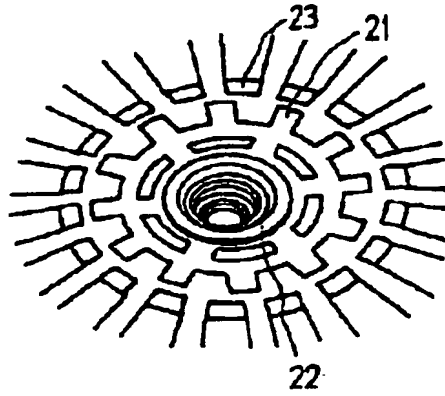
図8(e)以降と同様

【図10】



【図12】

(a)



(b)

